

## **Seminar Akustik. Aufgaben zu Teil 2 des Skripts**

Uwe Reichel, Phil Hoole

### **Wie kommt nach der Quelle-Filter-Theorie der Sprachschall zustande?**

- Rohschallgenerierung an der Quelle
- Verformung durch nachgeschaltetes Filter

Folien 2(3)

### **Was sind die zentralen Annahmen der Quelle-Filter-Theorie? Treffen sie wirklich zu?**

- Filter ist ein LZI-System (linear, zeitinvariant, dynamisch)
  - Linearität: Filter verändert nicht die Frequenzen der einlaufenden Signale. Trifft weitgehend zu.
  - Zeitinvarianz: Filter reagiert auf ein gegebenes Inputsignal stets auf dieselbe Weise. Nur bezogen auf sehr kurze Signalabschnitte innerhalb eines Lautsegments gültig.
  - Dynamik: Systemantwort überdauert Inputsignal. Trifft zu

Folien 2(5-6)

- Quelle und Filter sind voneinander unabhängig.
- Unabhängigkeit genaugenommen nicht gegeben: z.B. bestimmt die Kehlkopfhöhe sowohl Grundfrequenz (Quelle) sowie Resonanzeigenschaften (Filter)

Folien 2(23)

### **Wie werden Quelle und Filter im Frequenz- und Zeitbereich verknüpft?**

- Frequenzbereich: Multiplikation des Spektrums des an der Quelle erzeugten Rohschalls mit der Übertragungsfunktion des Filters.
- Zeitbereich: Faltung des Zeitsignals des Rohschalls mit der Systemantwort des Filters. Hintergrund: Da das Filter dynamisch ist (s.o.) ist der Output des Filters nicht nur durch die aktuelle Systemantwort gegeben, sondern es werden auch die vergangenen Systemantworten, die noch nicht abgeklungen sind, daraufaddiert (Integral)

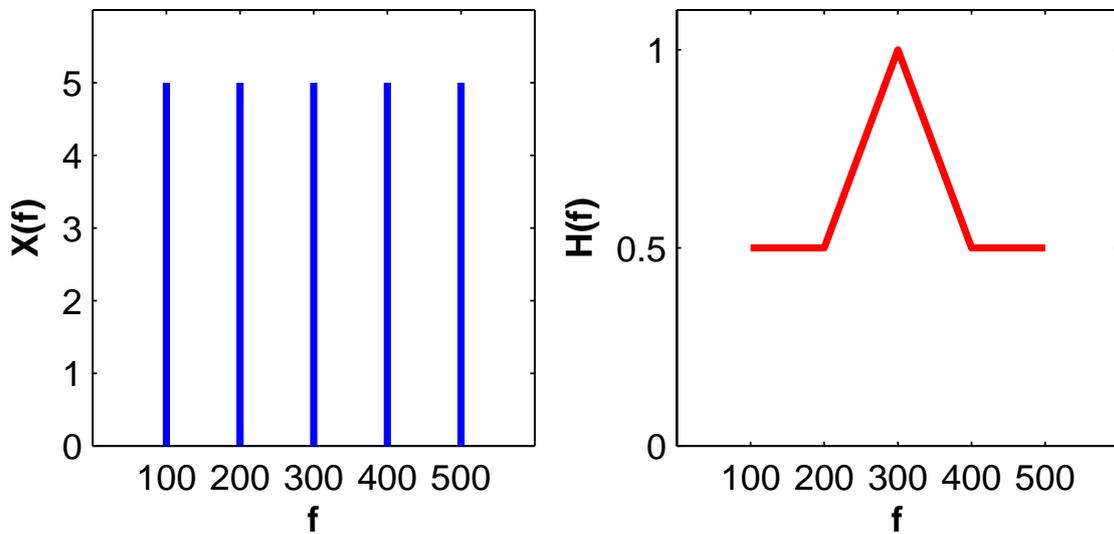
Folien 2(7-10)

### **Geben Sie die Quelle an für Vokale, stimmhafte Plosive, stimmlose Frikative**

- Vokale: Glottis
- stimmhafte Plosive: Glottis, Verschlusssprennung (transiente Anregung)
- stimmlose Frikative: geräuschverursachende Enge im Artikulationstrakt

Folien 2(11-15)

Wie hoch sind die Amplituden der spektralen Komponenten im Spektrum Y, dass sich durch Verformung des Spektrums X mittels der Transferfunktion H des (linearen) Filters ergibt?



- Die neuen Amplituden ergeben sich durch Multiplikation des Spektrums X mit der Übertragungsfunktion H:

$$Y(100) = 5 \cdot 0.5 = 2.5$$

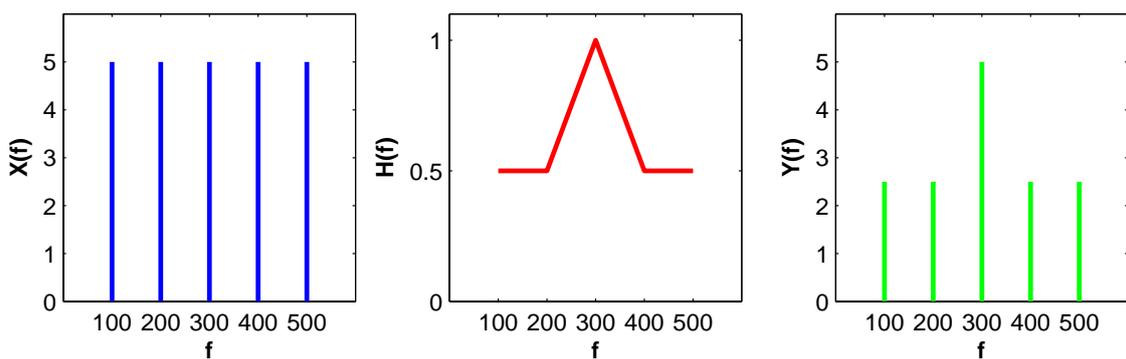
$$Y(200) = 5 \cdot 0.5 = 2.5$$

$$Y(300) = 5 \cdot 1 = 5$$

$$Y(400) = 5 \cdot 0.5 = 2.5$$

$$Y(500) = 5 \cdot 0.5 = 2.5$$

Folien 2(8)



### **Wie entsteht Rauschen?**

- Eine laminare Luftströmung (Teilchen schwingen auf parallelen Bahnen) schlägt am Ausgang einer Verengung oder an einem Hindernis um in einer turbulenten Stömung (Teilchen geraten durcheinander).
- Rauschen bezeichnet die damit einhergehenden quasi-chaotischen Luftdruckschwankungen.

Folien 2(13-14)

### **Was sind die Kennzeichen eines Ansatzrohrs?**

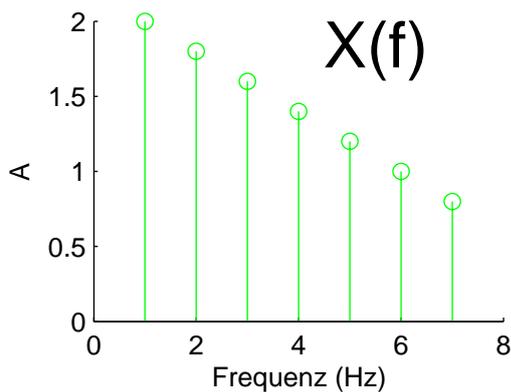
- gerades und kreiszylindrisches Rohr
- Querschnittsfläche klein gegenüber der Länge
- schallharte Wände
- einseitig schallhart geschlossen
- geschlossenes Ende: Glottis, offenes Ende: Mundöffnung

Folien 2(17)

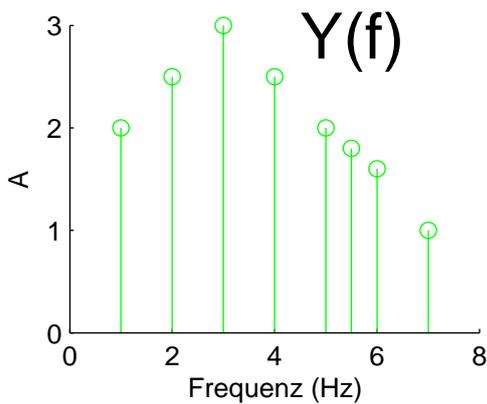
### **Wie entstehen stehende Wellen?**

- Stehende Wellen besitzen ortsfeste Schwingungsknoten und -bäuche.
- Sie entstehen durch Reflexion und Überlagerung der sich vorwärts und rückwärts ausbreitenden Schallwelle (Reflexion sowohl an der Glottis als auch an den Lippen)
- Damit eine stehende Welle entsteht, muss die Welle die geometrischen Randbedingungen des Ansatzrohrs erfüllen.

Folien2(17-19)



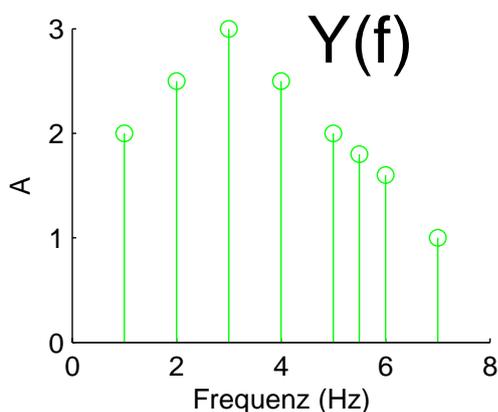
Gegeben sind Spektrum  $X(f)$  des Eingangssignals, Spektrum  $Y(f)$  des Ausgangssignals. Ist das Filter, das  $X$  in  $Y$  umgeformt hat, linear? Sind die zu den Spektren gehörenden Schwingungen periodisch?



- Das Filter ist nicht linear, da  $Y$  eine neue spektrale Komponente enthält mit einer Frequenz von 5.5 Hz, die in  $X$  nicht gegeben ist.
- Das zu  $X$  gehörige Zeitsignal ist periodisch, da  $X$  harmonisch ist (die Frequenzen der Obertöne sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz).
- Das zu  $Y$  gehörige Zeitsignal ist **auch** periodisch. Die Grundfrequenz ( $F_0$ ) ist allgemeiner formuliert der größte gemeinsame Teiler der Frequenzen der Obertöne, hier also gleich 0.5 Hz.
- Die  $F_0$ -Schwingung muss also selbst nicht im Signal enthalten sein.

Folien2(5), Folien1(31)

Eine weitere mögliche Frage wäre also:



Was ist die Grundfrequenz des Signals, dessen Spektrum in  $Y(f)$  wiedergegeben wird?

### Wie lassen sich die Resonanzfrequenzen im neutralen Ansatzrohr ermitteln?

- Resonanzfrequenzen = Frequenzen der **stehenden Wellen** (vgl. Frage weiter oben) im Ansatzrohr
- Im Ansatzrohr der Länge L bilden alle Wellen stehende Wellen aus, die die geometrischen Randbedingungen des Rohrs erfüllen, also Wellen mit Schwingungsbauch (Schalldruckmaximum und -minimum) an der Glottis (dem geschlossenen Ende) und Schwingungsknoten (Schalldruck gleich 0, atmosphärischer Luftdruck) an der Mundöffnung (dem offenen Ende).
- Drücke die Wellenlänge  $\lambda_n$  in Form der Ansatzrohrlänge L aus, z.B.  $\lambda_1 = 4L$
- Ermittle mit der Formel  $f = c/\lambda$  (c: Schallgeschwindigkeit) die Frequenz der stehenden Wellen und somit die Resonanzfrequenzen.

Folien2(19-20)

### Was sind Formanten?

- Frequenzbereiche erhöhter Energie, was auf die resonatorischen Eigenschaften des Ansatzrohrs zurückzuführen ist.
- Charakterisiert durch **Frequenzlage** und **Bandbreite**
- Resonanzfrequenzen fallen nicht zwingend mit Obertönen zusammen. Da aber die Resonanzen des Ansatzrohrs eine gewisse Bandbreite aufweisen, werden auch benachbarte Frequenzen verstärkt, also auch nah gelegene Obertöne. Daher sind Formanten im Signal sichtbar, auch wenn die Resonanzen nicht genau den Obertönen entsprechen.

Folien2(21)

### Zeichnen Sie eine Annäherung an den Vokal [ɑ] als Zweirohrsystem, sowie an den Vokal [i] als Dreirohrsystem. Geben Sie die Resonatortypen an, die in diesen Systemen vorkommen

- Zweirohrsystem: Beide einseitig geschlossen
- Dreirohrsystem: Hinterrohr, beidseitig geschlossen; Vorderrohr, einseitig geschlossen; Hinterrohr + Verengung, Helmholtz; (ev. Verengung, beidseitig offen)

Folien2(25-31, 36) (vgl. auch Übungen mit Rohrenmodellen)

### Was ist ein Nomogramm?

- Darstellung von Funktionswerten in Abhängigkeit mehrerer Variablen
- z.B. Lage der Formanten in Abhängigkeit der Längen des Hinter- und Vorderrohrs

Folien2(32-34)

**Gehen Sie von einer Gesamtlänge des Vokaltrakts von 16cm aus. Wo befinden sich die velare und alveolare Artikulationsstellen auf dieser Strecke von 16cm von Glottis bis Lippen?**

- velar bei ca. 5/8
- alveolar bei ca. 7/8

Folien2(47)

- (1) Ausgehend vom Schema des Formantverschiebers, wie wirkt sich eine Verengung an den Lippen auf die Lage der Formanten aus (z.B. Übergang von Schwa zu bilabialem Plosiv?**
- (2) Wie kann man die Grundgesetzmäßigkeit der Perturbationstheorie heranziehen, um diese Formantänderungen zu erklären?**

**(1)**

- Alle Formanten fallen

Folien2(40, 47)

**(2)**

- Resonanzfrequenzen sinken bei Verengung an Stellen maximaler Schallschnelle.
- An den Lippen Schalldruckknoten (Druck = 0) für alle Resonanzen.  
Schalldruckknoten entspricht Maximum der Schallschnelle.

Folien2(41-43)